

## التوصية ITU-R P.1410-3

## معطيات الانتشار وطرائق التنبؤ المطلوبة لتصميم أنظمة النفاذ الراديوي للأرض بالموجات المليمترية العاملة في نطاق التردد بين 20 و 50 GHz تقريباً

(المسألة ITU-R 203/3)

(1999-2001-2003-2005)

إن جمعية الاتصالات الراديوية التابعة للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) أن التخطيط الملائم لأنظمة النفاذ الراديوي للأرض بموجات مليمترية عريضة النطاق يتطلب توفر طرائق التنبؤ والمعطيات المناسبة في مجال الانتشار؛

ب) أن التوصيات المعدة لتصميم الوصلات الفردية بالموجات المليمترية لا تشمل الجوانب المتعلقة بالمنطقة،

توصي

1 بتطبيق المعطيات المتعلقة بالانتشار وطرائق التنبؤ الواردة في الملحق 1 عند تصميم أنظمة النفاذ الراديوي للأرض بالموجات المليمترية العاملة في نطاق التردد بين 20 و 50 GHz تقريباً؛

### الملحق 1

#### 1 مقدمة

هناك اهتمام متزايد بتوفير الخدمات عريضة النطاق بواسطة شبكات النفاذ المحلية إلى المنازل الفردية والشركات التجارية الصغيرة كذلك. وقد أصبحت الحلول الراديوية بالموجات المليمترية بشكل متزايد أنظمة لتقديم الخدمات وهي متيسرة اليوم في السوق. ويجري حالياً دراسة عدة أنظمة وتشغيلها، لا سيما نظام التوزيع المحلي متعدد النقاط ونظام الاتصالات المحلية متعددة النقاط والنظام من نقطة إلى عدة نقاط (P-MP). ويمكن تسمية هذه الأنظمة بصورة إجمالية بأنظمة النفاذ اللاسلكي عريضة النطاق (BWA).

ونظراً لتطور الأنظمة الراديوية السريع يجب الحصول على إرشادات جيدة في مجال التصميم فيما يتعلق بمسائل انتشار الموجات الراديوية. وتعرض هذه التوصية عدداً من النتائج الخاصة بالانتشار فيما يتعلق بالأنظمة الراديوية بالموجات المليمترية وكذلك بعض طرائق التنبؤ.

#### 2 تغطية المنطقة

يتعين على المشغل عند تخطيط نظام خلوي أن يختار بعناية موقع وارتفاع المحطة القاعدة فوق سطح الأرض لكي يتسنى له توفير الخدمة للعدد المرغوب من المستعملين داخل منطقة معينة. ويمكن أن يتغير حجم الخلايا حسب الطوبوغرافيا وعدد المستعملين المستفيدين من الخدمة الراديوية. ويقدم هذا الفرع نموذجاً إحصائياً للحجب بالمباني يقوم على تحديد بسيط لخصائص المباني في منطقة معينة وتوفير إرشادات تقوم على حسابات مفصلة. ويقدم أيضاً نموذجاً للتوهين الناتج عن الغطاء النباتي وبعض قواعد التصميم البسيطة.

## 1.2 الحجب بالمباني

تمثل أفضل طريقة لتقييم احتمال الحجب بالمباني في تقنيات رسم الأشعة التي تستعمل معطيات حقيقية صادرة من قواعد معطيات مفصلة عن المباني والتضاريس الأرضية. وتصف الفقرة 1.1.2 باختصار متطلبات تقنيات رسم الأشعة. ومع ذلك، لا تتوفر قواعد معطيات ملائمة في العديد من المناطق ومن ثم يوصى باستعمال النموذج الإحصائي الموصوف في الفقرة 2.1.2.

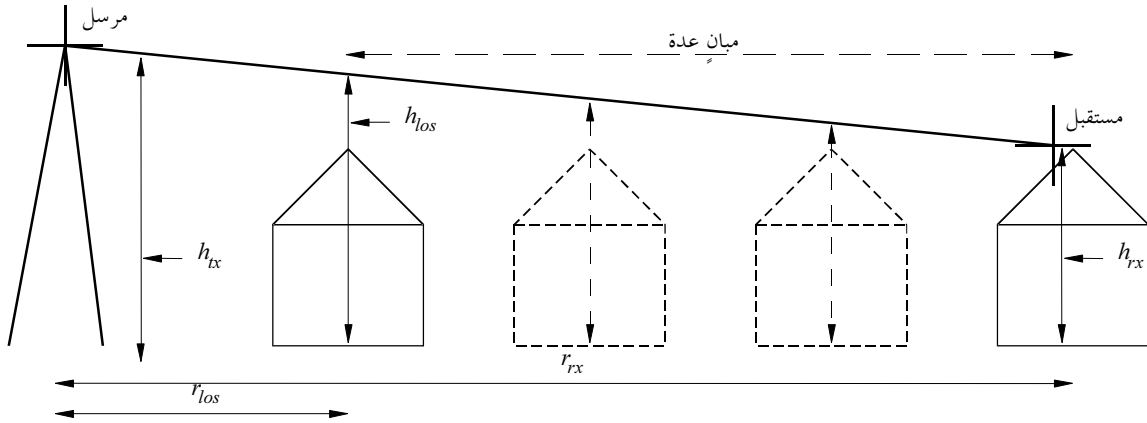
## 1.1.2 متطلبات رسم الأشعة

يمكن الحصول على تنبؤ دقيق بالتغطية باستعمال تقنيات رسم الأشعة في المناطق التي تتوفر بشأنها قواعد معطيات عن التغطية بالتضاريس الأرضية. ونظراً إلى ارتفاع الترددات وقصر أطوال المسير المعنية، يمكن استعمال تقريب بصري هندسي للانتشار عبر خط مستقيم.

ولتقريب من المرتبة الأولى لتقييم التغطية، يكون تحديد الرؤية عبر خط البصر (LoS) بمقدار 60% من تحرير منطقة فرينل الأولى كافياً لضمان خسارة إضافية لا تذكر (انظر الشكل 1). وتكون الخسارة بسبب الانعراج شديدة في حالات خارج خط البصر. وسوف تحد دقة قاعدة المعطيات الخاصة بالمباني من دقة التنبؤ بالأشعة ويجب أن تتضمن قاعدة المعطيات تمثيلاً دقيقاً للتضاريس الأرضية والمباني الواقعة على طول المسير. ويجب أن يؤخذ في الاعتبار أيضاً انحناء الأرض فيما يتعلق بالمسيرات التي تزيد عن 2 km. وينبغي لأغراض هذا الإجراء اعتبار المباني والغطاء النباتي كعناصر منيعة للأشعة.

الشكل 1

يجب أن يقع كل مبنى تحت مسار خط البصر الواصل بين المرسل والمستقبل



1410-01

بينت قياسات خصائص الإشارة المقارنة بنماذج رسم الأشعة توافقاً إحصائياً مرضياً ولكنها بينت أيضاً تغيرات كبيرة في الإشارة حسب الموقع والساعة فيما يتعلق بمسيرات خارج خط البصر. وبالتالي، ونظراً إلى الدقة المحدودة لقواعد المعطيات بشأن المباني الحقيقية، لا يمكن التنبؤ بنوعية الخدمة فيما يتعلق بمسيرات معينة، تتبع شبه خط البصر.

يمكن أن يسبب الغطاء النباتي ولا سيما الأشجار والشجيرات العالية، انحطاطاً هاماً في الخدمة، ويتعين في الحالات المثلى تضمين المعطيات المتصلة بالغطاء النباتي في قاعدة المعطيات.

وقد بينت القياسات، فيما يتعلق بتوفير الخدمة في منطقة حضرية/شبه حضرية نموذجية، أن عدد المستخدمين المتضررين بتأثيرات الانعكاس الناتجة عن مسيرات متعددة أقل بكثير من عدد المستخدمين المتضررين بتأثيرات المباني والغطاء النباتي، وذلك بسبب ضيق فتحة حزمة الهوائي، وبالتالي لا ضرورة لحساب الانعكاسات (انظر الفقرة 1.2.4).

ويمكن أن تكون قاعدة المعطيات المستعملة للتقييم بواسطة تقنية رسم الأشعة قاعدة معطيات مفصلة موجهة نحو الأشياء تشمل ارتفاع التضاريس الأرضية والخطوط الكفافية للمباني المختلفة ومعلومات متصلة بارتفاع السقوف وشكلها وعلى أساس تمثيل الغطاء النباتي في شكل أشجار إفرادية أو مجموعات أشجار. وكحل بديل، يمكن في تحديد مسار خط البصر استعمال قاعدة

معطيات بخطوط مسح الارتفاعات النقطية مثل تلك الناتجة عن نظام القياس باستعمال رادار ذي فتحة تركيبية محمول جواً (انظر الجدول 1).

## الجدول 1

## المتطلبات الدنيا لقاعدة المعطيات

الشيء	النسق	استبانة أفقية (m)	استبانة عمودية (m)
التضاريس الأرضية	شبكة ارتفاعات نقطية	50	1
المباني	معالج صورة الشبكة الضوئية الموجهة نحو الشيء أو الاستبانة العالية	1	1
الغطاء النباتي			

## 2.1.2 النموذج الإحصائي

بالنسبة إلى موقع معين للمرسل (Tx) وللمستقبل (Rx)، يكون احتمال وجود مسير خط البصر بين هذين الموقعين حاصل جمع الاحتمالات المتمثلة في أن كل مبنى يقع في مسير الانتشار يكون دون ارتفاع الشعاع الذي يوصل المرسل والمستقبل عند النقطة التي يعبر فيها الشعاع المبنى. ويبين الشكل 1 الشكل الهندسي لهذه الحالة ويعرف البنود المستعملة في المعادلة (1). وفي هذا النموذج يفترض أن التضاريس الأرضية مسطحة أو تتميز بميل ثابت في المنطقة المعنية. ويعطى ارتفاع الشعاع عند نقطة العائق  $h_{los}$  بالصيغة التالية:

$$(1) \quad h_{los} = h_{tx} - \frac{r_{los}(h_{tx} - h_{rx})}{r_{rx}}$$

حيث:

$h_{tx}$ : ارتفاع المرسل فوق سطح الأرض

$h_{rx}$ : ارتفاع المستقبل عند المسافة  $r_{rx}$

$r_{los}$ : المسافة بين المرسل والعائق.

وإذا افترض أن المباني متباعدة بشكل منتظم في المتوسط، يمكن تقدير عدد المباني الموجودة بين نقطتين. ويكون احتمال وجود شعاع في مسير خط البصر كالتالي:

$$(2) \quad P(LoS) = \prod_{b=1}^{b_r} P(\text{building\_height} < h_{los})$$

حيث  $b_r$  يدل على عدد المباني المعبورة.

ويتطلب هذا النموذج البسيط ثلاث معلمات:

-  $\alpha$ : نسبة المساحة التي تغطيها المباني إلى المساحة الكلية (بصرف النظر عن الارتفاع)؛

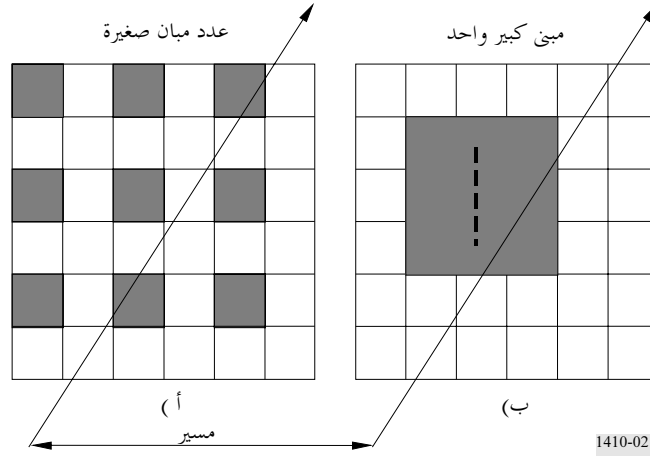
-  $\beta$ : متوسط عدد المباني في كل وحدة مساحية (المباني/ $\text{km}^2$ )؛

-  $\gamma$ : قيمة متغيرة تحدد توزيع ارتفاعات المباني.

بالنسبة إلى توزيع رايلي المقترح، تعادل القيمة المتغيرة  $\gamma$  ارتفاع المبنى الأكثر احتمالاً (أسلوب). ويبين الشكل 2 سبب التمييز بين  $\alpha$  و  $\beta$ . وللشكليين (أ) و (ب) نفس منطقة التغطية عند سطح الأرض وبالتالي نفس قيمة  $\alpha$ ، ولكن من المتوقع وجود تفاعلات أكثر عند سوية المسير في الشكل (أ) منه في الشكل (ب). ولا يمكن للمعلمة  $\alpha$  وحدها التمييز بين المخططين الموضحين في الشكل 2. وإذا كان ارتفاع المباني هو نفسه في الشكلين (أ) و (ب) يكون احتمال الحجب بعدة مبان صغيرة أقل منه بمبنى واحد كبير.

## الشكل 2

سيناريوهان لنفس منطقة التغطية  
ولكن مع عدد باختلاف التفاعلات عند سوية المسير



بالنسبة إلى الانتقال من مواقع المناطق شبه الحضرية إلى مواقع المباني عالية الارتفاع، تتراوح المعلمة  $\alpha$  بين 0,1 و 0,8 وتتراوح المعلمة  $\beta$  بين 750 و 100 على التوالي.

ويُعرّف توزيع احتمال رايلي  $P(h)$  للارتفاع  $h$  المعلمة  $\gamma$  كالتالي:

$$(3) \quad P(h) = \frac{h^2}{\gamma^2} e^{-\frac{h^2}{2\gamma^2}}$$

## 3.1.2 الخوارزمية والحساب

إذا كانت  $\alpha$  و  $\beta$  و  $\gamma$  معلومة عندئذ تحسب التغطية في خط البصر كالتالي:

يفترض مرور شعاع طوله 1 km فوق مبان عددها  $\sqrt{\beta}$  إذا كانت هذه المباني منتظمة في شبكة تربيعة. وبما أن جزءاً فقط قدره  $\alpha$  مغطى من الأرض، يكون العدد المتوقع للمباني المعبورة في كيلومتر واحد كما يلي:

$$(4) \quad b_1 = \sqrt{\alpha\beta}$$

وبالتالي يكون عدد المباني فيما يتعلق بمسير طوله  $r_{rx}$  (km) كالتالي:

$$(5) \quad b_r = \text{floor}(r_{rx} b_1)$$

حيث أدخلت دالة floor لضمان إدراج عدد صحيح من الحدود في المعادلة (2).

من أجل حساب احتمال وجود مسار خط البصر عند كل مسافة  $r_{rx}$ :

الخطوة 1: حساب عدد المباني  $b_r$  الموجودة بين النقطتين Tx و Rx باستعمال المعادلة (5).

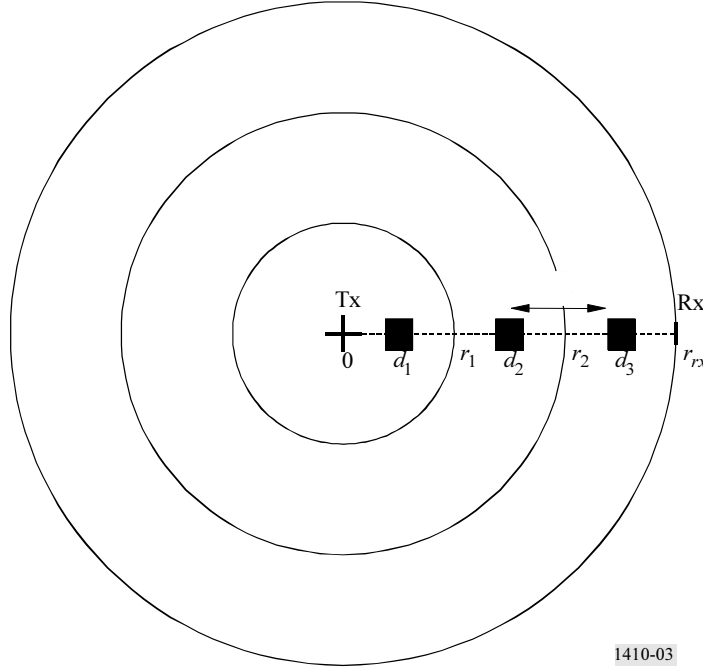
الخطوة 2: يفترض أن المباني متباعدة بشكل منتظم بين النقطتين Tx و Rx، وتعطى المسافات التي تقع عندها المباني بالمعادلة التالية:

$$(6) \quad d_i = (i + 1/2) \delta_r \quad i \in \{0, 1, \dots, (b_r - 1)\}$$

حيث  $\delta_r = r_{rx}/b_r$  هي المسافة الفاصلة بين المباني.

## الشكل 3

موقع المباني بالنسبة إلى المستقبل Rx عند مسافة  $r_{rx}$  من المرسل Tx



الخطوة 3: عند كل مسافة  $d_i$ ، يحدد ارتفاع  $h_i$  لمبنى معين يمكن أن يحجب مسير خط البصر باستعمال  $d_i$  كبديل في المعادلة (1).

$$(7) \quad h_i = h_{tx} - \frac{d_i(h_{tx} - h_{rx})}{r_{rx}}$$

الخطوة 4: يعطى احتمال  $P_i$  المتمثل في أن يكون مبنى معيناً أقل من الارتفاع  $h_i$  بالمعادلة التالية:

$$(8) \quad P_i = \int_0^{h_i} P(h) dh$$

$$= 1 - e^{-h_i^2 / 2\gamma^2}$$

الخطوة 5: يعطى احتمال وجود مسير خط البصر  $P_{los,i}$  عند الموقع  $d_i$  بالمعادلة التالية:

$$(9) \quad P_{los,i} = \prod_{j=0}^i P_j \quad j \in \{0, \dots, i\}$$

الخطوة 6: يتم الحصول على التغطية التراكمية بترجيح كل من قيمة  $P_{los,i}$  بواسطة معامل الترجيح  $W_i$  الذي يعتمد على المسافة بالنسبة إلى المرسل. ويراعي هذا المعامل عدد المباني الموجودة في حلقة يتزايد محيطها بتزايد المسافة.

$$(10) \quad W_i = 2i + 1$$

الخطوة 7: تحسب التغطية المطلوبة لخلية نصف قطرها  $r_{rx}$ ، بجمع الاحتمالات المرجحة بحكم المباني وبتقييس النتيجة على أساس حاصل المساحة التراكمية للحلقات مضروباً في كثافة المباني:

$$(11) \quad CP_{rx} = \frac{\sum_{i=0}^{b_r-1} P_{los,i} W_i}{b_r^2}$$

وتنطوي هذه النمذجة على بعض القيود وهناك عدة طرق لتوسيع هذا النموذج:

- لم يؤخذ بعين الاعتبار أي تغاير في التضاريس الأرضية في هذا النموذج. ومن الواضح أن مع بعض التغيرات وإن كانت بمقدار بضعة أمتار يمكن أن يكون لها تأثير ملحوظ. ويمكن تمديد قدرات التنبؤ الخاصة بالنموذج بتوليف الخصائص الإحصائية للنموذج ومع قاعدة معطيات أرض غير منتظمة التضاريس، عن طريق إضافة تخالف متوسط لارتفاع الحجب فيما يخص كل نقطة خضعت للاختبار في هذا النموذج.
- تتغير كثافة المباني وارتفاعها إلى حد كبير من منطقة إلى أخرى وبالتالي، تكون التنبؤات بأحد الاتجاهات مختلفة عن التنبؤات بالاتجاه الآخر. ويتجلى من توزيع ارتفاعات المباني المقيسة أن المباني لا تتلاءم تماماً مع النموذج الإحصائي البسيط. ويمكن حل قسط كبير من هذه المشكلة بتجزئة قاعدة المعطيات إلى مناطق أصغر وبتخصيص مجموعة معلمات محددة لكل منطقة.
- وفي الواقع تتركب المستقبلات فوق سطوح المباني بحيث يتبع توزيع ارتفاع المستقبلات نفس التوزيع الذي يتبعه ارتفاع المباني. وفي النموذج يفترض أن المستقبلات توجد عند ارتفاع ثابت بالنسبة إلى الأرض. ويتمثل حل آخر في توليد ارتفاعات المستقبلات من توزيع المباني، وسيتوقف ذلك أيضاً على اختلاف المناطق.
- تعطي الطريقة المستخلصة بالخوارزمية تقديراً صحيحاً للتغطية بالمقارنة مع نتائج تقنية رسم الأشعة المطبقة على قاعدة المعطيات الحقيقية (انظر الفقرة 4.1.2). وتبين أن توزيع رايلي لارتفاع المباني دقيق فيما يتعلق ببعض عينات المعطيات حيث تناولت الدراسة منطقة محدودة، كمدينة صغيرة مثلاً. وعلاوة على ذلك، وللحصول على نتائج التغطية المبينة في الفقرة 4.1.2، يجب تطبيق الطريقة مع مراعاة موقع المباني ونموذج تحرير المسير كما جاء في إجراء الخطوات المتوالية.

#### 4.1.2 أمثلة عن التنبؤات بالتغطية

طبقت صيغة رايلي على التوزيع التراكمي لارتفاعات سطوح المباني في منطقة شبه حضرية في المملكة المتحدة (مالفرن). وبالنسبة لمجموعة المعطيات هذه كانت القيم المتوسطة لمعاملات النموذج في المنطقة الحضرية الرئيسية كالتالي:

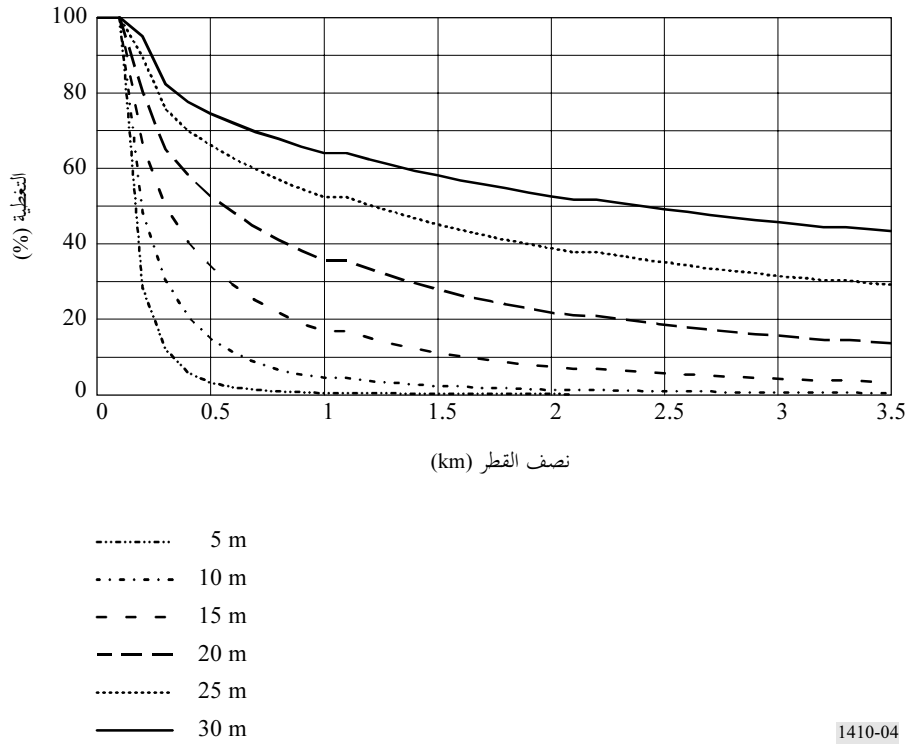
$$\alpha = 0,11; \quad \beta = 750; \quad \gamma = 7,63$$

يبين الشكلان 4 و 5 النتائج المستخلصة من النموذج. ويبين الشكل 4 التغطية بدالة ارتفاع المرسل ويبين الشكل 5 التغطية بدالة ارتفاع المستقبل.

يعطي هذا النموذج تنبؤات لها نفس الشكل الأساسي ونفس سوية التغطية الكلية التي تعطيها النتائج المستخلصة باستعمال المحاكاة التفصيلية لتقنية رسم الشعاع. وفائدة هذا النموذج أنه يولد التنبؤات بالتغطية اعتماداً على ثلاث معلمات فقط يمكن تقديرها فيما يتعلق بأي موقع حضري شريطة توفر أبسط المعلومات بشأن المنطقة. ونظراً إلى أن المعطيات ثلاثية الأبعاد أصبحت متيسرة بشكل متزايد سوف يكون من الممكن إعداد جداول المعلمات الخاصة بالبلدان/المدن المختلفة التي يمكن استعمالها كمرجع عند تقييم التغطية في بعض المواقع غير المعروفة. ولا يقتصر استعمال هذا النموذج على تقييم التغطية في خلية واحدة، وإنما يمكن جمع النتائج المتأتمية من عدة خلايا لتغطية شبكات كبيرة، بما في ذلك تأثيرات التنوع.

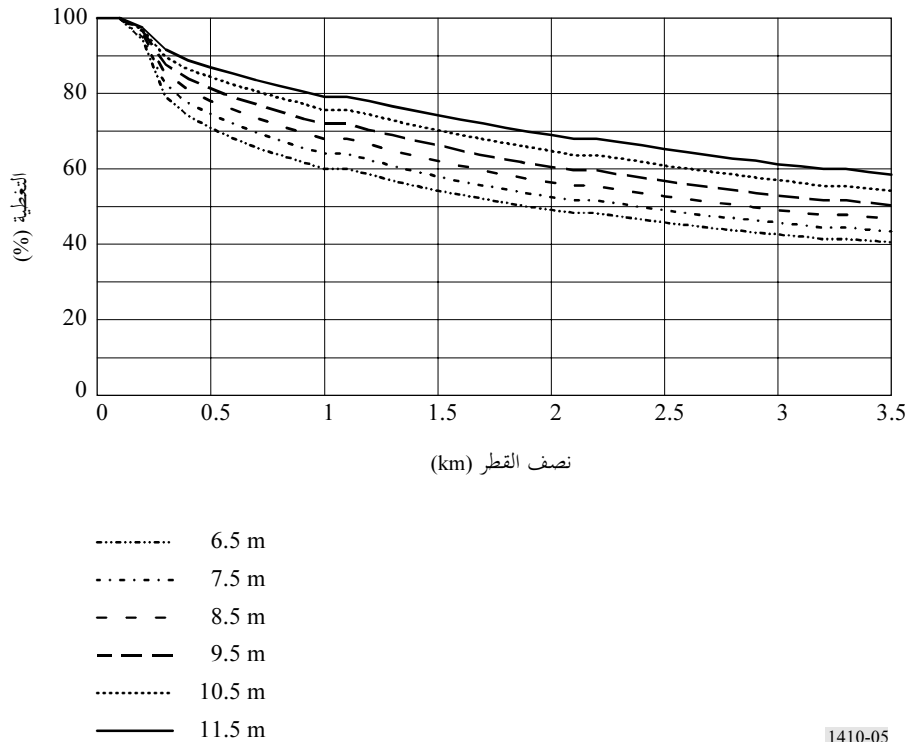
## الشكل 4

نمذجة التغطية التراكمية لمستقبل يقع عند ارتفاع  $m$  7,5  
ومرسل يقع عند ارتفاعات 5 و 10 و 15 و 20 و 25 و 30 m



## الشكل 5

نمذجة التغطية التراكمية لمرسل يقع عند ارتفاع  $m$  30  
ومستقبل يقع عند ارتفاعات 6,5 و 7,5 و 8,5 و 9,5 و 10,5 و 11,5 m



## 5.1.2 زيادة التغطية باستخدام محطتين قاعدتين أو أكثر

من شأن معمارية خلوية تتيح للمستقبلات الاختيار بين عدة محطات قاعدة أن تزيد التغطية بشكل كبير. ومن خلال حسابات تقنية رسم الشعاع مثلاً، وفيما يتعلق بارتفاع هوائي المرسل قدره 30 m، تتزايد التغطية في خلية نصف قطرها 2 km بنسبة 44% فيما يتعلق بمحطة قاعدة واحدة وبنسبة 80% فيما يتعلق بمحطتين وبنسبة 90% فيما يتعلق بأربع محطات حتى وإن لم يتم انتقاء المحطات القاعدة خصيصاً لضمان رؤية فردية جيدة.

وبافتراض أن احتمالات وجود مسيرات خط البصر باتجاه مختلف المحطات القاعدة المعنية مستقلة من الناحية الإحصائية يمكن حساب احتمال وجود مسير واحد على الأقل. ويتعين أولاً حساب كل  $P_{los,i}$  من المعادلة (9). عندئذ يصبح احتمال وجود مسير واحد مرئي على الأقل لعدد  $m$  من المحطات القاعدة المحتملة كالاتي:

$$(12) \quad P_{los,i} = 1 - \prod_{k=1}^m (1 - P_{los,i,k})$$

ويمكن تقييم التغطية بواسطة محطتين قاعدتين أو أكثر بالاستعاضة عن  $P_{los,i}$  في المعادلة (9) بقيمتها المعطاة في المعادلة (12) في الإجراء الوارد في الفقرة 3.1.2. وجدير بالإشارة، فيما يتعلق بكل قيمة من قيم  $k$ ، ضرورة اتباع الخطوات من 1 إلى 5 حيث  $r_{rx}$  هي المسافة إلى كل محطة قاعدة.

## 2.2 التوهين الناتج عن الغطاء النباتي

إن الحجب الناجم عن الأشجار قد يحد كثيراً من عدد المنازل التي يمكن تزويدها بالخدمة. وبالتالي من الضروري جداً توفر نموذج موثوق به يتعلق بتأثير ومدى التوهين الناتج عن الغطاء النباتي، نظراً إلى أن هامش النظام، في حالة المستقبلات القريبة من المرسل، قد يبلغ حداً تصبح عنده قدرة الإشارة بعد الانتشار عبر شجرة واحدة غير كافية لتوفير خدمة معينة.

وقد بينت دراسة استقصائية تعتمد تقنية رسم الشعاع في ست بلدان في المملكة المتحدة وتستخدم قواعد معطيات تشمل جميع المباني والأشجار أن ما يبلغ حتى 5% من المباني الواقعة ضمن مدى 1000 m من محطة قاعدة مركزية يتأثر بالحجب بسبب الغطاء النباتي. وقد وضعت المحطة القاعدة على سطح أعلى مبنى في المنطقة، عند 30-40 m فوق سطح الأرض عموماً، واعتبر المبنى غير متأثر بالحجب إذا أمكن وصول مسير خط البصر إلى أي نقطة اختبار في ذلك المبنى. وكانت نقاط الاختبار الخاصة بالمبنى تقع في شبكة تريبعية منتظمة بعرض 1 m لأعلى نقطة من مسقط كل مبنى. ولم تتغير النسبة المئوية للحجب بالغطاء النباتي في مدى يفوق 1200 m تقريباً شريطة إبقاء ارتفاع المحطة القاعدة على ما هو عليه. وفي المديات الطويلة تصبح المباني الأخرى والتضاريس الأرضية السبب المهيمن للحجب بسبب انحناء الأرض. وقد بلغ الحجب بالغطاء النباتي في منطقة شبه حضرية حوالي 25%.

أجريت القياسات عند 42 GHz لتحديد دلالة التوهين الناتج عن "الأشجار المحلية". وقد اتضح أن التوهين المتوسط كان كما هو متوقفاً في التوصية ITU-R P.833 لكن مع وجود تأثيرات كبيرة متعددة المسيرات مما يؤدي إلى حالات من انعدام الإشارة التام تتغير مع الزمن بسبب الريح التي تحرك الأوراق. واتضح أنه يمكن فك ترابط حالات الانعدام هذه بنجاح باستعمال هوائيين تفصل بينهما مسافة 60 cm أو أكثر. وقد بين التقارب ترابطاً أكبر والتباعد تحسناً بسيطاً في فك ترابط التوهين. ويعني ذلك أن تشكيلة ثنائية الهوائي باختلاف مكاني قد تسمح بتشغيل الخدمات في هذه الظروف. وقد بينت تجربة عند 42 GHz باستعمال هوائيين تفصل بينهما مسافة 62 cm تغيراً ملحوظاً في كل من الهوائيين واحتمال تحسن في التنوع. وبينت القياسات طويلة الأجل للانتشار عبر الأشجار المورقة أنه يمكن الحصول عموماً على كسب في التنوع قدره 10 dB.

ويكون التوهين بسبب الأشجار شديداً عند أطوال الموجات المليمترية. ويعتمد معدل التوهين على نوع الأشجار ومحتوى الرطوبة وهندسة المسير، ولكن يمكن استعمال المعدل 4-5 dB/m كدليل (على الرغم من أن التوهين يصل إلى حالة تشبع عند قيمة معينة تبلغ 20-40 dB عموماً). ويوصى باستعمال النموذج الوارد في التوصية ITU-R P.833 لتحديد دلالة التوهين الناتج عن الغطاء النباتي.



### 3.2 التوجهات العامة

لوحظت بعض الاتجاهات العامة استناداً إلى عدة قواعد معطيات صادرة في أوروبا الشمالية. وقد استعملت تقنية رسم الشعاع لحساب التغطية (اعتماداً على مستوى المبنى والحجب الناتج عن الغطاء النباتي بين المحطة القاعدة وموقع المستعمل) بدالة ارتفاعات هوائي المرسل وهوائي المستقبل، ومزايا تنوع وتعدد حواسيب الخدمة وأهمية الحجب الناتج عن الغطاء النباتي. والجوانب العامة هي كالآتي:

- قد تعتمد التغطية على الموقع بشكل كبير، خاصة في حالة وجود خصائص طبوغرافية أو حدوث حجب استثنائي بسبب المباني على مقربة من المرسل. ومع ذلك سمحت عدة دراسات استقصائية أجريت على مواقع حضرية/شبه حضرية مختلفة بالحصول على نسب بالتغطية تتراوح بين 40% و60% فيما يتعلق بخلية نصف قطرها 2 km اعتباراً من سارية المرسل:
- تزايد التغطية بمقدار 1% إلى 2% فيما يتعلق بكل متر من زيادة ارتفاع سارية المحطة القاعدة.
- تزايد التغطية بمقدار 3% إلى 4% فيما يتعلق بكل متر من زيادة ارتفاع سارية موقع المستعمل.
- من شأن معمارية خلوية تتيح للمستقبلات الاختيار بين عدة محطات قاعدة أن تزيد التغطية بشكل كبير. فبالنسبة إلى ارتفاعات هوائي المرسل التي تبلغ 30 m مثلاً تزايد التغطية في خلية نصف قطرها 2 km بنسبة 44% فيما يتعلق بمحطة قاعدة واحدة وبنسبة 80% فيما يتعلق بمحطتين وبنسبة 90% فيما يتعلق بأربع محطات حتى وإن لم يتم انتقاء المحطات القاعدة خصيصاً لضمان رؤية فردية جيدة.

### 3 تأثير الهواطل على التيسرية

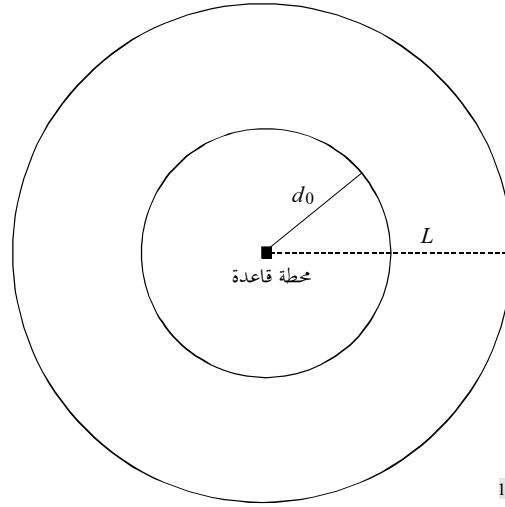
حالما يتقرر أن المستعمل لديه خط بصر غير محجوب باتجاه المحطة القاعدة مع هامش ملائم للنظام في الفضاء الحر يصبح من اللازم حساب النسبة المئوية للوقت الذي تكون فيه الخدمة متيسرة على أن يؤخذ في الاعتبار تأثير الهواطل. وفيما يتعلق بأي وصلة في منطقة الخدمة للمحطات القاعدة، يمكن تقدير التيسر أثناء الهواطل بواسطة الطرائق الموصوفة في التوصية ITU-R P.530.

### 1.3 تغطية المنطقة المتأونة

بما أن الأمطار غير منتظمة أفقياً (في بعدين) فإن النموذج أحادي الأبعاد الموصوف في التوصية ITU-R P.530 فيما يتعلق بالأمطار غير المنتظمة التي تؤثر في الوصلات من نقطة إلى نقطة لا يمكن تطبيقه على الوصلات الموجودة بين نقطة ثابتة ومنطقة معينة. ويمكن مراعاة عدم الانتظام ثنائي الأبعاد هذا بتطبيق توزيع متوسط معدل سقوط الأمطار على خلية المطر التي تجري دراستها. وبالنسبة إلى خلية بتغذية مركزية نصف قطرها  $L$ ، يمثل الرسم البياني الوارد في الشكل 6 المنطقة المكافئة التي يحددها نصف القطر  $d_0$  الذي يتعرض للتغطية أثناء النسبة المئوية المختارة من الوقت.

## الشكل 6

مخطط الخلية بتغذية مركزية يمثل نصف قطر منطقة التغطية المكافئة في ظروف المطر



1410-06

وضع إجراء للتنبؤ بمنطقة التغطية بالاستناد إلى القياسات الرادارية لسقوط الأمطار التي أجريت في المملكة المتحدة على مدى سنتين.

بالنسبة إلى خلية بتغذية مركزية نصف قطرها  $L$  (km) وهامش خبو النظام  $F$  (dB) عند الحافة:

الخطوة 1: الحصول على المعدل المتوسط لهطول المطر في منطقة ما  $R_a(p)$  الذي يتم تجاوزه خلال  $p\%$  من الوقت من شبكة من مقاييس المطر، أو رادار لقياس المطر أو باستعمال نماذج تحليلية لهطول المطر. ويرد في الجدول 2 مثال لهذه المعلمة فيما يتعلق بمعطيات قائمة على الرادار تم الحصول عليها في المملكة المتحدة. وفيما يتعلق بمعدل هطول المطر في نقطة معينة، يلاحظ أن المعدل المتوسط لهطول المطر في منطقة معينة ينخفض بشكل ضئيل عند سوية تجاوز بمقدار  $0,1\%$  وحوالي الثلث عند سوية تجاوز بمقدار  $0,01\%$  وحوالي النصف عند سوية تجاوز بمقدار  $0,001\%$  بالنسبة إلى منطقة دائرية نصف قطرها  $2,5$  km.

الخطوة 2: تحديد مسافة القطع  $d_0$  أثناء نسبة مئوية  $p\%$  في سنة متوسطة عن طريق حل المعادلة (13) للحصول على  $d$  عددياً

$$(13) \quad k R_a^\alpha(p) d \left( 1.5 + \left( 1.1(2d^{-0.04} - 2.25) \right) \log(R_a(p)) \right) + 20 \log(d/L) = F$$

حيث تعد  $k$  و  $\alpha$  معلمتان تحددان التوهين النوعي الناتج عن المطر الوارد في التوصية ITU-R P.838. ويمثل التعبير  $(1.5 + 1.1(2d^{-0.04} - 2.25) \log(R_a(p)))$  عامل تخفيض المسير المنطبق على الحسابات الخاصة بالمنطقة.

الخطوة 3: بالنسبة إلى مسافة القطع  $(L, p, F)$   $d_0 \propto$ ، تكون تغطية المنطقة لهذه الخلية كالتالي:

$$(14) \quad C(L, p, F) = 100 \left( \frac{d_0}{L} \right)^2 \quad \%$$

يقدم الجدول 2 مثلاً عن المعدل المتوسط لهطول المطر في منطقة معينة مستخلص من عمليات الرصد بالرادار في المملكة المتحدة. ويستخلص معدل هطول المطر في نقطة معينة وكذلك القيم المتوسطة في منطقة معينة من معطيات الرادار. ويلاحظ أن القيم المتوسطة في منطقة معينة تظهر معدلات منخفضة كلما اتسعت منطقة القياس. ويبين الشكل 7 نتائج الإجراء فيما يتعلق بخليتين بتغذية مركزية يبلغ نصف قطر كل واحدة منهما  $2,5$  km و  $5$  km وبنظامين باستعمال استقطاب عمودي عند  $42$  GHz، على أساس هامش توهين بسبب المطر قدره  $10$  و  $15$  dB عند حافة الخلية. ويفترض في هذا الصدد أيضاً أن كسب هوائي المرسل متساوٍ بالنسبة إلى جميع المستعملين. وتراعى في الحسابات الخسارة في الفضاء الحر.

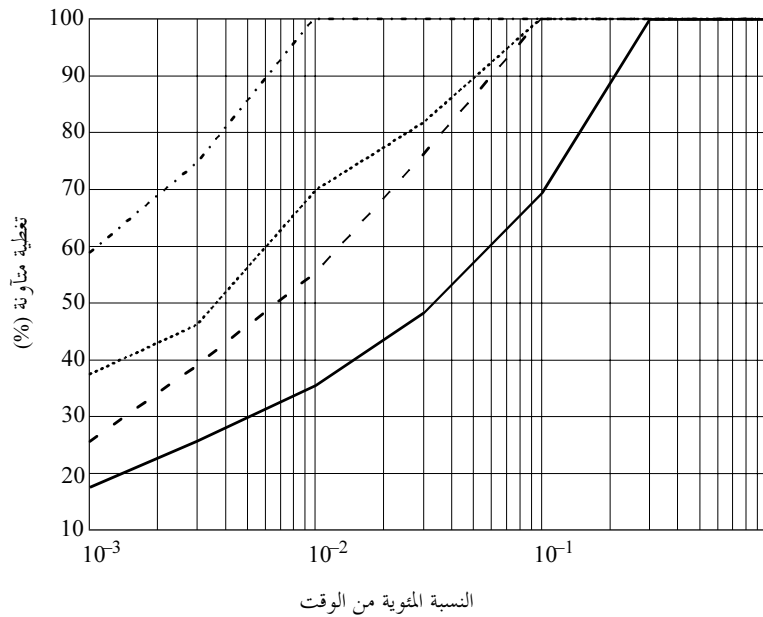
## الجدول 2

متوسط معدل هطول المطر في نقطة معينة وفي منطقة معينة من خلال مجموعة معطيات  
رادارية مقيسة على مدى سنتين في المملكة المتحدة

متوسط معدل هطول المطر في منطقة معينة $R$ (mm/h)		معدل هطول المطر في نقطة معينة، $R$ (mm/h)	النسبة المئوية من الوقت
نصف القطر = 5 km	نصف القطر = 2,5 km		
33,0	36,0	65,6	0,001
23,4	29,0	46,2	0,003
17,1	19,4	29,9	0,01
12,6	16,3	18,1	0,03
8,5	9,5	9,8	0,1
4,8	4,9	5,0	0,3
2,1	2,1	2,0	1

## الشكل 7

تطبيق الإجراء (باستعمال معطيات معدل هطول المطر الواردة في الجدول 2)



	نصف قطر الخلية (km)	الهامش (dB)
.....	2,5	10
.....	2,5	15
————	5	10
-----	5	15

### 2.3 تحسين تنوع الطرق

تتغير الهواطل عمودياً وأفقياً حسب الوقت والمكان تغيراً كبيراً. ويراعى هذا التغير في النمذجة الحالية فيما يتعلق بوحدة بين مطرافين، وذلك مثلاً باستعمال طول المسير الفعال، بافتراض أن مستعملاً يمكنه أن يُوصل بمحطتين قاعدتين أو أكثر في أي وقت. ويشرح هذا الفرع إلى أي مدى يمكن تحسين التيسر في حالة تركيب مثل هذا النظام. وتفترض شبكة من نمط نجمي بعقدة مركزية تشمل مرسلين ومستقبلاً واحداً، ويفترض أن طولي المسير واحد حيث يتراوح الفصل الزاوي بين 0° و 360°.

نظراً إلى أن هطول المطر غير منتظم أفقياً فإن الإحصاءات المتعلقة بالتوهين بالنسبة إلى المسير الوحيد وإلى مسيري التنوع تكون مختلفة. ويبين الشكل 8 الإحصاءات النموذجية للتوهين عبر مسير غير محمي وعبر مسيري التنوع المندمجين. وتعرف المعادلتان التاليتان التحسين العائد إلى الفصل الزاوي الذي يمكن التعبير عنه بتحسين التنوع  $I(A)$  أو كسب التنوع  $G(A)$ :

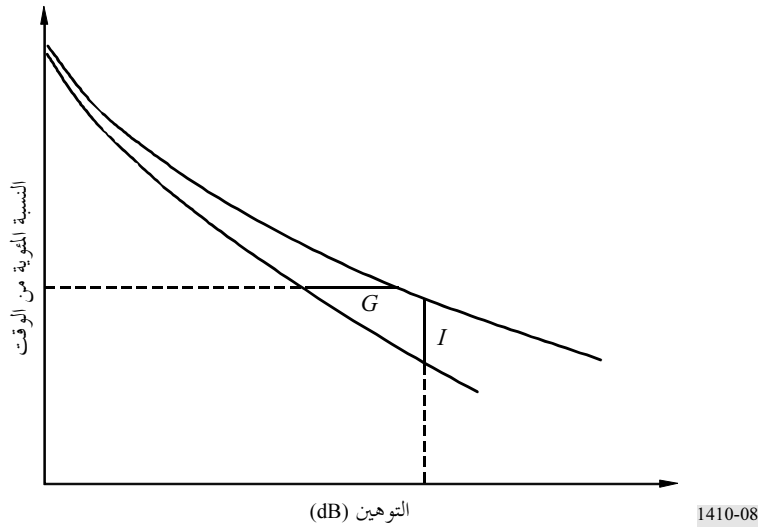
$$(15) \quad I(A) = \frac{P(A)}{P_d(A)}$$

$$(16) \quad G(A) = A(t) - A_d(t)$$

حيث  $P_d(A)$  هي النسبة المئوية من الوقت في مسير التنوع المندمج حيث يكون عمق الخبو أعلى من  $A$  وتشير  $P(A)$  إلى النسبة المئوية من الوقت للمسير غير المحمي. وعلى غرار ذلك، تشير  $A_d(t)$  إلى عمق الخبو في مسير التنوع المندمج الذي يمثل النسبة المئوية من الوقت  $t$  ويقابل  $A(t)$  المسير غير المحمي.

الشكل 8

مثال عن إحصاءات التوهين بدالة التنوع الزاوي للمسير



يحسب كسب التنوع  $G$  باتباع الخطوات التالية:

الخطوة 1: تحدد الزاوية  $\theta$  بين المسيرين  $d_{min}$  و  $d_{max}$ .

الخطوة 2: حساب  $G_{sym}$  من:

$$G_{sym} = a_g d_{max}^{b_g}$$

بدالة الطول  $d_{max}$  وباستعمال المعاملين  $a_g$  و  $b_g$  الواردين في الجدول 3 لمختلف النسب المئوية لتيسر الوصلات.

الجدول 3

قيم المعاملين لمختلف حالات التيسر

$b_g$	$a_g$	التيسر (%)
1,366	0,123	99
1,308	0,218	99,5
1,259	0,342	99,7
1,173	0,648	99,9
1,165	0,810	99,95
1,169	1,132	99,97
1,077	2,041	99,99

الخطوة 3: حساب عامل لا تناظرية المسير  $a$  من:

$$(22) \quad a = c \left( \frac{d_{max}}{d_{min}} \right)^{-d}$$

حيث يرد المعاملان  $c$  و  $d$  في الجدول 4.

الجدول 4

قيم المعاملين  $c$  و  $d$  لمختلف حالات التيسر

$d$	$c$	التيسر (%)
2,852	0,907	99
2,976	0,946	99,5
2,761	0,969	99,7
2,821	0,971	99,9
2,347	0,930	99,95
2,316	0,905	99,97
2,270	1,000	99,99

بالنسبة إلى أطوال المسير المتساوية، تكون  $a = 1$ .

الخطوة 4: يكون كسب التنوع  $G$  عند التيسر المطلوب كالتالي:

$$G = G_{sym} a \sin \left( \frac{\theta}{2} \right)^x \text{ (dB)}$$

حيث تعطى  $x$  بالمعادلة التالية:

$$x = 0.87 \ln \left( \frac{d_{max}}{d_{min}} \right) + 0.55 \text{ for } 1 \leq (d_{max}/d_{min}) \leq 2$$

ويحسب تحسن التنوع  $I$  باتباع الخطوات التالية:  
 الخطوة 1: تحدد الزاوية  $\theta$  بين المسيرين  $d_{min}$  و  $d_{max}$ .  
 الخطوة 2: حساب  $I_{sym}$  من:

$$I_{sym} = 10^{(a_i L^{b_i})} - 1$$

حيث يرد المعاملان  $a_i$  و  $b_i$  في الجدول 5 لتجاوز التوهين عند مختلف النسب المئوية من الوقت.

الجدول 5

قيم المعاملين لتجاوز مختلف أعماق الخبو  
 مقابل النسبة المئوية من الوقت  $A$

$b_i$	$a_i$	الوقت (%)
0,491	0,082	1
0,431	0,114	0,5
0,535	0,106	0,3
0,559	0,155	0,1
0,566	0,196	0,05
0,406	0,324	0,03

الخطوة 3: حساب عامل لا تناظرية المسير  $a$  من:

$$(22) \quad a = c \left( \frac{d_{max}}{d_{min}} \right)^{-d}$$

حيث يرد المعاملان  $c$  و  $d$  في الجدول 6.

الجدول 6

قيم المعاملين  $c$  و  $d$  لتجاوز مختلف أعماق الخبو  
 خلال النسبة المئوية المحددة من الوقت

$d$	$c$	الوقت (%)
2,355	0,851	1
2,493	0,961	0,5
2,288	0,882	0,3
2,631	0,768	0,1
2,198	0,762	0,05
2,427	0,858	0,03

بالنسبة إلى أطوال المسير المتساوية، تكون  $a = 1$ .

الخطوة 4: يكون تحسن التنوع  $I$  عند التوهين المطلوب كالتالي:

$$I = 1 + I_{sym} a \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)^x$$

حيث يعطى  $x$  بما يلي:

$$x = 0.61 \ln \left( \frac{d_{max}}{d_{min}} \right) + 0.84 \text{ for } 1 \leq (d_{max}/d_{min}) \leq 2$$

يلاحظ أن الطرائق أعدت بالاستناد إلى معدلات هطول الأمطار المرصودة بالرادار في المملكة المتحدة.

#### 4 تشوه قناة الانتشار

يتناول هذا الفرع التأثيرات المتأونة لديناميات الغطاء النباتي والانتشار عبر عدة مسيرات (المباني والتضاريس الأرضية) على قناة المسير. ونظراً لندرة المعطيات المتاحة حالياً، تعطى نتائج القياس المتيسرة على سبيل الإرشاد فقط. ويمكن الحصول على المعلومات المتعلقة بتغير الإشارة والانحراف المعياري فيما يتعلق بالانتشار من خلال تحرك الغطاء النباتي في التوصية ITU-R P.833.

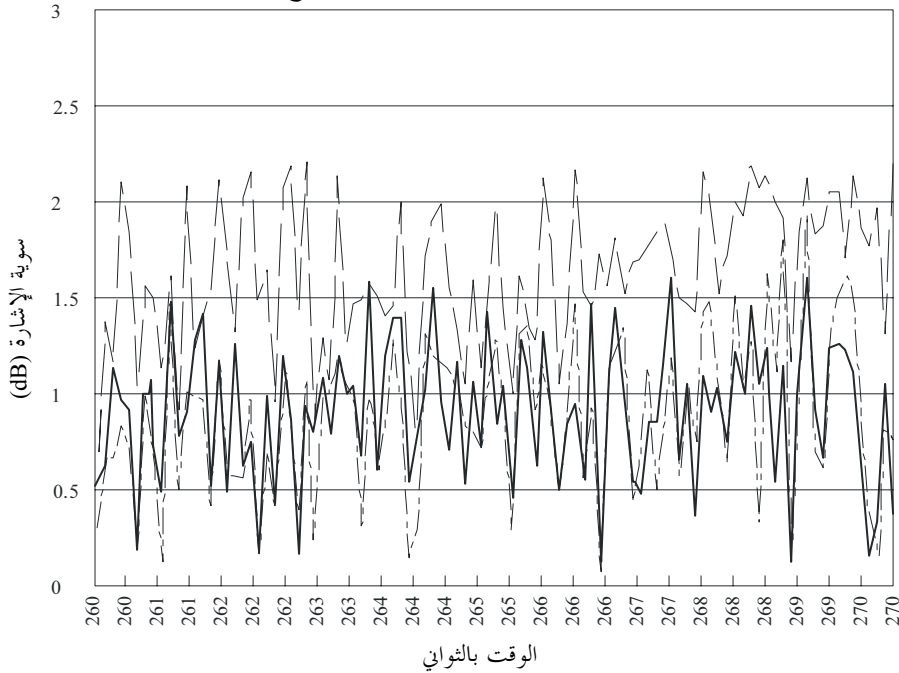
#### 1.4 توهين انتقائي للتردد العائد إلى الغطاء النباتي

أجريت قياسات بواسطة مجموعة مراشيع للإرسال في عرض نطاق 34 MHz بهدف دراسة احتمال حدوث توهين انتقائي للتردد عبر القناة. وتضمنت مجموعة المراشيع ثماني قنوات يبلغ عرض نطاقها 1,6 MHz (-3 dB) ويفصل بينها 3 MHz وضعت في وسط القناة.

وقد أجريت القياسات وراء شجرة من نوع البتولة عند مسافة 15 m مع فاصل اعتيان قدره 100 ms. ونظراً لعدم وجود رياح خلال فترة القياس، جرت محاكاة تأثير الرياح بواسطة حبال تهمز بها الشجرة. ويرد في الشكل 9 مقارنة بين سويات إشارة القنوات في ظروف رياح قوية. وتوحي السوية المنخفضة للتغير الملحوظ عبر القناة بعدم وجود توهين انتقائي كبير للتردد. وبالتالي فإن التغير الزمني لسوية الإشارة قد يكون ناتجاً عن تغير الحجب أو عن كثافة الأغصان والأوراق الواقعة بين المستقبل والمرسل، أو بسبب الانتشار عبر عدة مسيرات حيث يكون الاختلاف في وقت الانتشار ضئيلاً جداً.

#### الشكل 9

مقارنة بين سويات إشارة القنوات في ظروف رياح قوية



أقصى - أدنى  
 ——— MHz 18  
 - - - - - MHz 12

وزيادة في اختبار النتائج الملحوظة أجريت تجربة باستعمال مضمم القدرة القصوى (MPC) وهوائيين فرديين يفصل بينهما 72 cm. وأجري إرسال اختبري MPEG-2 TV عند 42 GHz باستعمال النسق DVB-S (التصحيح الأمامي للخطأ لنصف معدل التشكيل التريبيعي بزحزة الطور). ووضعت الإشارات الصادرة من كل هوائي وكذلك الإشارات المختلطة من خلال مضمم القدرة القصوى في ثلاثة صنابير لفك الشفرة ومراقب فيديو في الخدمة الإذاعية الفيديوية الرقمية (DVB-S). وقد نصبت الأجهزة لكي يستقبل كلا الهوائيين الإشارات من خلال أغصان الأشجار المتحركة. وقد عانى كلا من نظامي DVB-S وحيد هوائي من خسارة منتظمة في الرزمة. وكان معدل خسارة الرزمة شديداً بحيث يصعب تصحيحه بمفكك التشفير مما سبب خسارة فيديوية متكررة. وعلى عكس ذلك، عانت الإشارة المختلطة بواسطة مضمم القدرة القصوى من خسارة رزمة منخفضة وبالتالي استطاع مفكك التشفير MPEG-2 من التعويض عن ذلك وظل الإرسال الفيديوي مستقراً.

## 2.4 الانتشار عبر عدة مسيرات الناتج عن الانعكاسات

### 1.2.4 نتائج تقنية رسم الشعاع

بينت عمليات محاكاة رسم الشعاع أن مشكلة الانتشار عبر عدة مسيرات تبدو قليلة الشأن في الظروف التي سيشغل النظام في ظلها، وأن حزمة هوائي المستقبل الضيقة جداً تسبب توهيناً كبيراً جداً للإشارات المنتشرة عبر عدة مسيرات. والأشعة التماسية الضحلة جداً المنبعثة من السطوح المجاورة ومن الأرض هي وحدها التي تتسرب إلى المستقبل بدرجة لا بأس بها من الاتساع. ونتيجة لذلك، فإن قيم تمديد وقت الانتشار الملحوظة بواسطة المحاكاة ضعيفة جداً.

لم تدرس الأشعة المنعرجة أثناء محاكاة رسم الشعاع ولكن بينت بعض الأعمال السابقة أن هناك مواقع قليلة جداً يمكنها استعمال الأشعة المنعرجة، وبالتالي من المرجح أن تكون هناك مواقع قليلة حيث تشكل الأشعة المنعرجة مصدراً للتداخل.

وعلى سبيل المثال، أجريت حسابات برسم شعاع تمديد وقت الانتشار لمواقع المستقبلات باستعمال قاعدة معطيات كبيرة (أو كسفورد، المملكة المتحدة). وقد أعطت هذه الحسابات قيمة منخفضة للغاية بسبب السويات المنخفضة جداً للانتشار عبر عدة مسيرات. وقد لوحظ أن القيمة المتوسطة الفعالة لتمديد وقت الانتشار بلغت حوالي 0,01 ns، وهو ما يعادل تقريباً عرض نطاق للتماسك قدره 15 GHz. ولن يشكل ذلك مشكلة بالنسبة إلى نظام نفاذ راديوي عريض النطاق. ومن المستبعد أن تكون القيمة الحقيقية الفعالة لتمديد وقت الانتشار منخفضة إلى هذا الحد في الواقع وذلك بسبب الأشعة المنعرجة المذكورة أعلاه، ولكن يمكن واقعياً اعتبار عرض نطاق للتماسك يصل إلى 5 GHz. ويبلغ الانحراف المعياري للقيمة الفعالة لتمديد وقت الانتشار حوالي 0,01 ns.

### 2.2.4 نتائج من القياسات

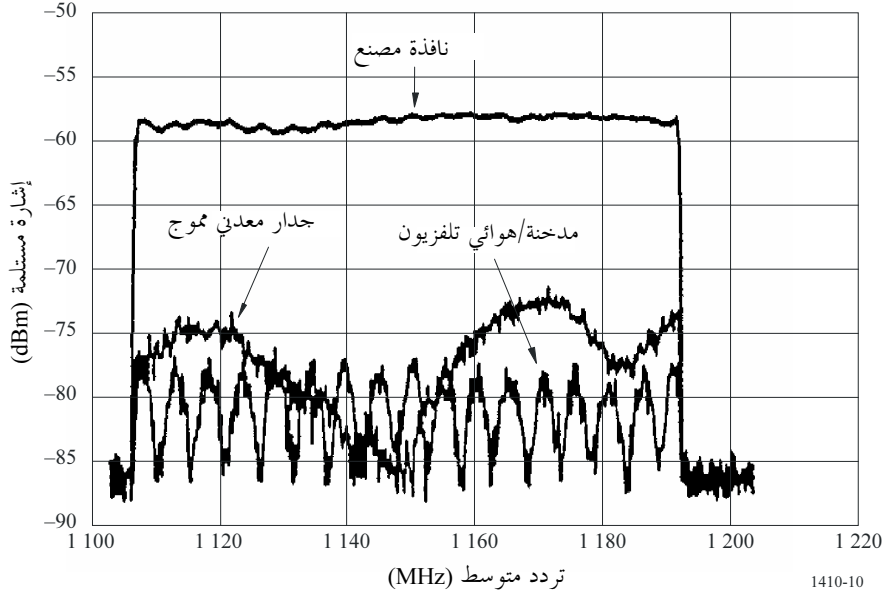
يمكن اعتبار الانعكاسات الناتجة عن المباني بمثابة إمكانية ملء منطقة الحجب وبمناخ انتشار عبر عدة مسيرات ضار على حد سواء. وقد بينت بعض عمليات الرصد باستعمال كس تردد قدره 80 MHz أنه يمكن زيادة عدد المواقع المستقبلية لإشارة ملائمة للتغطية بنسبة 9% وذلك بإضافة الإشارات المنعكسة. ومع ذلك ينبغي ملاحظة أن استعمال إشارات منعكسة لتوفير خدمة معينة يثير عدة مشاكل. أولاً يجب أن تكون الإشارة مستقرة أي أن يكون لإشارة الورد إلى الشيء العاكس مسير عبر خط البصر. وإذا عبر أي جزء من المسير الغطاء النباتي أو مسيراً يتجمل أن يتعرض إلى الحجب بسبب الحركة ستظهر الإشارة الناتجة تغيراً زمنياً. وثانياً يجب أن يكون الشيء العاكس ذاته دائماً ومستقراً.

يكون لمساحة وخشونة سطح المبنى العاكس تأثير كبير للغاية على استجابة تردد القناة. ويبين الشكل 10 استجابة القناة المقيسة فيما يتعلق بثلاث إشارات منعكسة مختلفة: تأتي الإشارة الأولى من نافذة مصنع والإشارة الثانية من مدخنة منزل ذي شرفة (المنزل مجهز أيضاً بهوائي لتلفزيون ياغي) والإشارة الثالثة يعكسها جدار معدني موج لمبنى كبير للبيع بالتجزئة. وحدير بالملاحظة فيما يتعلق بهذا المبنى أن الجدار المعدني المموج يعطي انعكاساً زاوياً ممدداً وليس انعكاساً زاوياً مرآوياً. وبلغت المسافة بين المواقع والمرسل 1,34 km و 1,57 km و 616 m على التوالي.



## الشكل 10

استجابة التردد للانعكاسات المقيسة في ثلاثة مواقع مختلفة

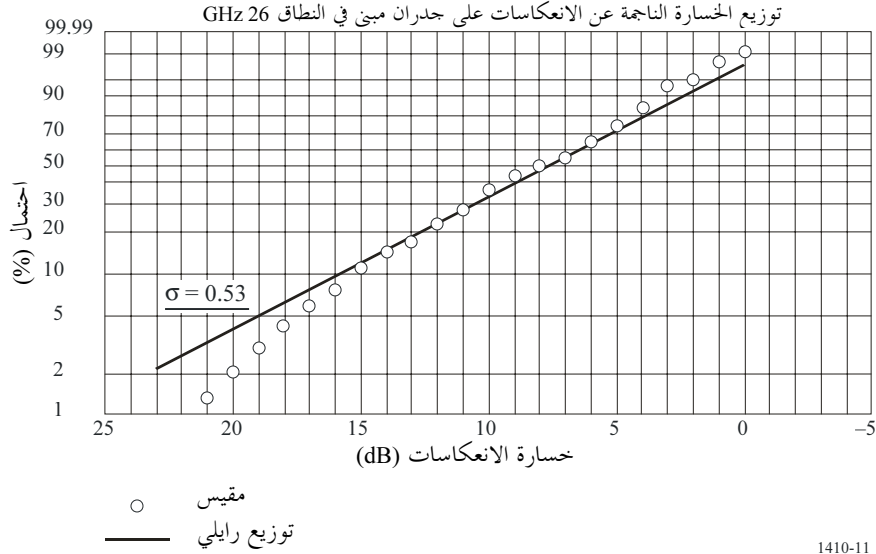


من الملاحظ أن نافذة المصنع توفر استجابة تردد منتظمة بصورة عامة لأنها تتصرف كمرآة مسطحة وتتضمن عنصراً مرآوياً واحداً. في حين يظهر الجدار المعدني الموج والمدخنة تموجاً مميزاً يقابل الاختلاف في طولي المسير (على افتراض نموذج بمسيرين). بمقدار 6 m و 60 m على التوالي. وفيما يتعلق بالانعكاس المدخنة، قد يعزى طول مسافة المسير إلى اجتماع الانعكاس المتأتي من شيء آخر يقع عند 30 m تقريباً وراء المدخنة. وفي حالة الجدار المعدني الموج يمكن الحصول على اختلاف طول المسير بمقدار 6 m من مختلف أجزاء الجدار ذاته، نظراً إلى أن المبنى بكامله يمكن أن يساهم في انعكاس الإشارات وليس فقط المنطقة المرآوية الصغيرة.

إن قياسات كس التردد باستعمال إشارة مستقطبة عمودياً عند 26 GHz التي أجريت بزوايا انعكاس تتراوح بين 87,5° و 89° (أي بشكل متعامد تقريباً مع سطح الجدار)، بينت توهيناً متوسطاً قدره 7,5 dB. وكان المرسل والمستقبل يقعان في نفس المكان. وتراوحت المسافات حتى الجدران من 37 m إلى 402 m. وقد استعملت أربعة مبان تتكون مساحة الجدران فيها من الزجاج والقرميد والمعدن وبالتالي يتراوح عدم انتظام السطح بين 3 cm و 75 cm. وجدير بالملاحظة أن متجه المجال الكهربائي كان متوازياً مع الجدران. ويبين الشكل 11 توزيعاً تراكمياً للخسارة بسبب الانعكاسات.

## الشكل 11

## التوزيع التراكمي للخسارة الناتجة عن الانعكاسات على جدران مبنى والمقيس عند تردد 26 GHz



## 5 التداخل

تصمم الأنظمة الراديوية الخلوية على أساس التوفيق بين نمط إعادة استعمال التردد ونسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء  $C/I$ . وقد يحتاج الأمر إلى حد أدنى من نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء كي يتسنى لنظام معين أن يعمل بشكل مرضٍ، أي حسب نوعية الأداء المحددة.

وفي ضوء الحد الأدنى المطلوب من نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء يصبح من السهل وضع نموذج منتظم لإعادة استعمال التردد يفى بالغرض. ومع ذلك ينبغي أن تؤخذ خصائص التضاريس الأرضية في الاعتبار كما ينبغي اختيار موقع المحطة القاعدة بعناية للحصول على نوعية الأداء المطلوبة لنظام النفاذ الراديوي.

وفي معظم الحالات لن يتأثر بذلك سوى قلة من المستعملين بسبب ضيق حزمة هوائي المطراف. ويتراوح عرض الحزم بين  $2^\circ$  و  $3^\circ$ . وبالنسبة للمستعملين الذين قد يتعرضون للتأثير يمكن استعمال النماذج الموصوفة في التوصية ITU-R P.452 والتوصية ITU-R P.530 لتقدير النسبة المئوية من الوقت الذي تنبعث فيه الإشارة الضارة خارج خط البصر والإشارة المعززة على خط البصر، على التوالي، من المحطة القاعدة المسببة للتداخل. ولكن لا تتوفر فوق 37 GHz، أي معطيات لتأكيد صحة القيم المتنبأ بها.

جرى تقييم مشكلة التداخل باستعمال المعطيات الناتجة عن دراسة 111 موقعاً خلال حملة قامت بها المملكة المتحدة لقياس تغطية منقطة معينة. وجرت دراسة مرسل آخر كمصدر محتمل للتداخل. ومن مجموع المعطيات بين موقع واحد فقط انبعث إشارة من المرسل غير المطلوب تفوق سويتها عتبة الضوضاء في فتحة حزمة الهوائي المسدد نحو المرسل المطلوب، وحتى في هذه الحالة لوحظ أن نسبة الإشارة المطلوبة إلى الإشارة غير المطلوبة بلغت 15 dB. ويبدو أن ذلك يؤكد أن التداخل فيما بين الخلايا سيكون طفيفاً على الأرجح بسبب ضيق فتحات هوائيات المستقبل.